فصلنامه علوم محیطی، دوره پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶

۱۴۱-۱۶۲

بهینه سازی مسیرخطوط انتقال نفت با بکارگیری پارامترهای مکانی و روش‌های تصمیم گیری چند معیاره در GIS

شهرام محمدی*، علی اکبر متکان، سید حسین پورعلی، بابک میر باقری و پروین احمدپور

گروه سنجش از دور و GIS، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲

محمدی، ش.، متکان، ع.ا.، پورعلی، س.ح.، میرباقری، ب. و پ. احمدپور. ۱۳۹۶. بهینه سازی مسیر خطوط انتقال نفت با بکارگیری پارامترهای مکانی و روش های تصمیم گیری چندمعیاره در GIS. فصلنامه علوم محیطی. ۱۵(۲): ۱۶۴-۱۴۳.

سابقه و هدف: با توجه به وسعت و فواصل زیاد بین قطب‌های تولید و مصرف در کشور، توسعه زیرساخت‌های خطی به عنوان ضرورتی حیاتی مطرح می‌باشد. از آنجایی که در مسئله مسیریابی عوامل و معیارهای متعددی درگیر بوده که اغلب با یکدیگر ناسازگار بوده و برای گروه‌های تصمیم‌گیری در این زمینه مشکلاتی ایجاد می‌کنند و اغلب فرآیند مسیریابی را به تاخیر می‌اندازند، به همین خاطر بهره‌گیری از روش‌های نوین نظیر سامانه اطلاعات مکانی برای بهینه‌سازی فرآیند مسیریابی خطوط انتقال نفت می‌تواند منجر به حل بسیاری از مسائل پیچیده‌ای بشود که در تصمیم‌گیری با آن مواجه هستند.

مواد و روش‌ها: هدف از این پژوهش بهینه سازی مسیر خطوط انتقال نفت از چاه حفاری شده به پالایشگاه با استفاده از سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن ریسک پذیری و ریسک گریزی می باشد. ابتدا مهمترین معیارهای مکانی نظیر، زمین شناسی، پوشش کاربری، شیب طولی، مدل رقومی ارتفاع، معدن، گسل، رودخانه و آبراهه که در استخراج مسیر بهینه و هزینه احداث و اثرات متقابل آن با محیط اطراف موثر هستند، جمع‌آوری و با استفاده از توابع خطی وزنی کاهشی و افزایشی استاندارد سازی و آماده سازی شدند. سپس برای وزندهی به پارامترهای مورد نظر از روش تحلیل سلسله مراتبی که یکی از روش های دانش بنیان می باشد، استفاده شد. جهت تلفیق پارامترهای مکانی از عملگرهای روش میانگین مرتب شده وزنی و برای یافتن مسیر بهینه بین موقعیت چاه و پالایشگاه، از الگوریتم دایجسترا استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش مقدار α، مقدار هزینه، متوسط شیب و ارتفاع مسیر عبوری نفت افزایش می‌باشد. در سناریوهای با مقادیر کمتر از $\alpha < ۱$ ارزش بیشتر به پیکسل‌های دارای مقدار عددی بالا داده می‌شود. بعبارت دیگر با افزایش مقدار α و کاهش درجه خوش بینی،وزن‌های ترتیبی کوچکتر و کوچک‌تری به ارزش‌های بالای معیارها اختصاص پیدا می‌کند. در حالی که وزن‌های ترتیبی بزرگتر به مقادیر دارای ارزش عددی پایین در همان موقعیت اختصاص داده می‌شود. به همین خاطر مقدار طول مسیر از سناریو All (AND) به سمت سناریو At least one (OR) کاهش می یابد. به این دلیل که الگوریتم دایجسترا یک الگوریتم تک هدفه بوده و هدف آن استخراج مسیر با کمترین هزینه می‌باشد. زیرا در هر گام حرکت پیکسلی که دارای کم‌ترین هزینه تجمعی باشد را به عنوان جهت حرکت انتخاب می کند و مقدار طول مسیر را در نظر نمی‌گیرد که همین مورد یکی از مهم‌ترین عیوب الگوریتم می‌باشد.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: a-matkan@sbu.ac.ir

نتیجه گیری: با مقایسه بین مسیر موجود و مسیرهای بدست آمده از الگوریتم دایجسترا در سناریوهای متفاوت برا اساس چهار فاکتور طول، هزینه، متوسط شیب و متوسط ارتفاع مسیر استخراج شده در سناریوهای Almost All ، Most و Half (WLC) از نظر کلیه فاکتورها و معیارهای فنی- اقتصادی و زیست‌محیطی در شرایط بسیار مناسب‌تری قرار دارند. سناریوهای دیگر در برخی از فاکتورها نتایج بهتری نسبت به مسیر موجود ایجاد کرده‌اند. با ارائه نتایج گوناگون با سطح ریسک و جبران پذیری این روش از انعطاف‌پذیری بالایی در برآورد ساختن نیازها و اولویت تصمیم گیران در حوزه صنعت نفت برای طراحی بهینه خطوط انتقال برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی، سیستم اطلاعات مکانی، الگوریتم دایجسترا، تحلیل سلسله مراتبی، میانگین مرتب شده وزنی.

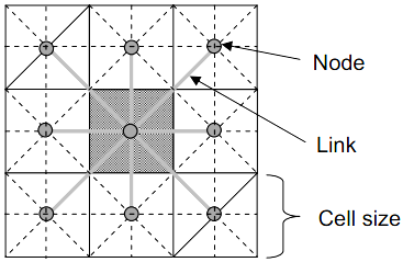
مقدمه

خطوط انتقال نفت به عنوان یکی از زیرساخت‌های خطی، علاوه بر ابعاد فنی، به علت عملکرد خود در سطح ملی و منطقه‌ای و قرارگیری در یک پهنه‌ی گسترده، به تنظیم مجدد ساختار ارتباطات فضایی منطقه استقرار خود پرداخته و گستره بزرگی از ویژگی‌های فضایی منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از مسائل بهینه‌سازی مکانی در ارتباط با زیرساخت‌های خطی پیدا کردن مسیر بهینه می‌باشد. در ارتباط با مسئله پیدا کردن مسیر علاقمندان زیادی پژوهش‌های گسترده‌ای در ارتباط با مسیریابی بهینه برای تخلیه‌ی اضطراری، طراحی زیرساخت‌ها و آنالیز تقاضای سفر انجام داده‌اند (Kruusmaa, *et al*., 2003). پیداکردن مسیری با حداقل هزینه یکی از کاربردهای بسیار مهم و اساسی درسیستم اطلاعات مکانی[1] است (Yu, *et al*., 2003; Ahmadi, *et al*., 2008; Gonçalves, 2010; Bagli, *et al*., 2011; Umashankar., 2014). تابع آنالیز مسیر حداقل هزینه برای یافتن مسیری با کمترین هزینه بین نقطه‌ی مبدا و نقطه مقصد در GIS *می‌باشد* که پایه و اساس آن الگوریتم دایجسترا[1] است (Yu, *et al*., 2003; Gonçalves, 2010; Dean, 2011). الگوریتم دایجسترا[2] یکی از متداول‌ترین الگوریتم‌های مورد استفاده برای حل کردن مساله مسیریابی تک هدفه با حداقل هزینه بر روی یک سطح هزینه تجمعی یا شبکه‌ای از یال و گره می‌باشد (Dijkstra, 1959; Stahl, 2005; Saha, 2005;Antikainen, 2013). برای استفاده از این الگوریتم در مدل داده‌های رستری GIS، یک شبکه‌ی مجازی[3] می‌تواند ساخته شود که در آن مرکز هر سلول رستر به عنوان گره و ارتباط بین همسایگی مراکزسلول‌ها به عنوان لینک درشبکه عمل می‌کنند (Yu, *et al*., 2003; Albert, 2004; Saha, 2005; Li, 2009; Eldrandaly, *et al*., 2015)(شکل ۱).

پردازش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در GIS را می‌توان به منزله فرآیندی که داده‌های مکانی (نقشه‌ها) و مقادیر ارزیابی‌ها (اولویت و معیارهای تحلیل گران) را با هم ترکیب می‌کند، در نظر گرفت (Malczewski, 1999 & 2006). به عبارت دیگر GIS-MCDA مدلی مشخص برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری مکانی ارائه می‌دهد.(1999) Kelman and Yager توسعه‌ای از روش تحلیل سلسله مراتبی[4] با عملگرهای میانگین مرتب شده ی وزنی[5] را معرفی و پیشنهاد کردند که توانایی‌هایAHP را می‌توان با ترکیب عملگرهای فازی OWA بهبود بخشید وجود همزمان AHP و OWA در یک مدل می‌تواند منجر به مهیا سازی ابزار تصمیم‌گیری قدرتمندتر برای ساختار دهی و حل مسائل مختلف بشود. Malczewski and Boroushaki (2008) با توسعه یک ماژول از ترکیب روش‌های چند *معیاری* OWA و AHP، شرایطی را مهیا کردند که امکان استفاده از عبارات مفهومی فازی در فرآیند تصمیم‌گیری وجود داشته باشد. Iqbal *et al*., (2006) به طراحی مسیر حداقل هزینه خط

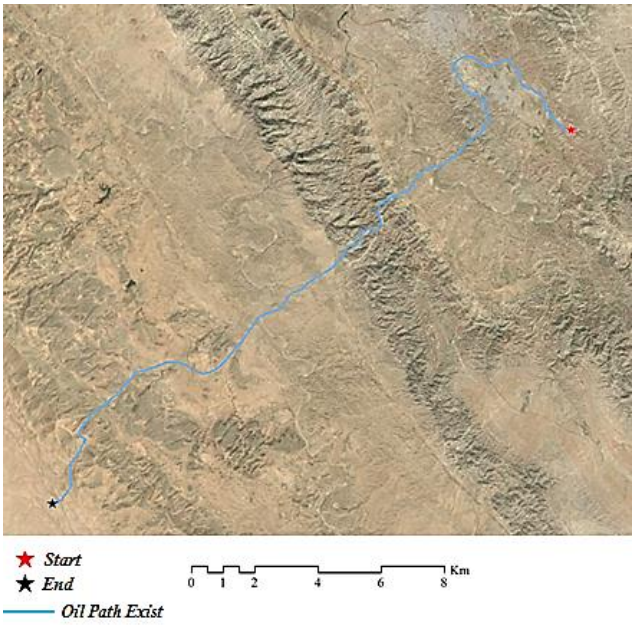
گاز با روش ترکیبی سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی[۶] اقدام نمودند و به این نتایج رسیدند که GIS تعداد زیاد و گوناگونی از توابع تحلیلی که قادر به جایگزینی روش‌های دستی و سنتی در طراحی مسیر هستند را فراهم می‌کند. Mohammadi *et al.*, (2011) با استفاده از تلفیق Fuzzy-AHP و آنالیز نسبی خاکستری[۷] به مسیریابی بهینه‌ی خطوط لوله‌ی گاز پرداختند. توابع هدف اصلی این پژوهش شامل فنی و مهندسی، زیست محیطی و اقتصادی بودند. اهمیت و امتیاز هر کدام از معیارها و زیر معیارها توسط روش FAHPبه دست آمد و سپس مسیرها توسط GRA طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که بهترین مسیر الزاماً کوتاه‌ترین مسیر نیست.

هدف پژوهش حاضر بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند *معیاره*[۸] AHP و OWA و کمیت سنجی فازی در مدل‌سازی مرحله به مرحله ابعاد مختلف تصمیم‌گیری مکانی برای تعیین مسیر بهینه خطوط انتقال نفت با استفاده از الگوریتم دایجسترا در GIS می‌باشد. جهت تلفیق لایه‌ها برای تولید لایه هزینه از روش‌های مختلف OWA برای اولین بار جهت یافتن مسیر بهینه خطوط انتقال نفت استخراج شده استفاده شده است. از آنجایی که تصمیم گیرندگان مختلف در این حوزه همیشه اولویت های آنها برای انتخاب مسیر در شرایط عادی و بحرانی یکسان نمی باشد به همین دلیل سعی بر آن شد که مدلی در این پژوهش ارائه شود که به مدیران و کارشناسان در تصمیم گیری کمک کند.



شکل ۱- رابطه بین یال و گره در مدل داده رستری

Fig. 1- Relationship between Node and Link in Raster Data Model



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 2- Case Study

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در این تحقیق
Table 1. Data of Using in This Research

داده Data	مقیاس Scale	تهیه‌شده از Prepared from
نقشه کاربری اراضی land cover	1.5000	تصاویر ماهواره با قدرت تفکیک بالا
زمین‌شناسی، گسل و معدن Geology, Fault , Main	1.50000	اداره زمین‌شناسی استان خوزستان
خطوط انتقال نفت Oil Pipelines	1.5000	شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و نرم‌افزارGoogle Earth
خطوط انتقال برق Electrical Line	1.25000	نقشه‌های توپوگرافی 1.25000
منطقه حفاظت شده Protected area	1.100000	اداره محیط‌زیست استان خوزستان
نقشه شیب و ارتفاع Dem and Slope Map	10*10	نقشه‌های توپوگرافی
رودخانه و آبراهه River and Stream	1.25000	نقشه‌های توپوگرافی
راه‌های اصلی و فرعی Main and Secondary roads	1.25000	نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین شهرستان‌های مسجدسلیمان و شوشتر واقع در استان خوزستان می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه ۵۹۲/۹۱۹ و حداقل آن ۱۷/۹۶۵۷ و دارای متوسط شیب ۲۲/۵۶می‌باشد. نقطه مبدا چاهی است در شهرستان مسجدسلیمان و نقطه مقصد واحد بهره‌برداری هفتکل ۴ می‌باشد. (شکل ۱).

داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر با توجه به ادبیات تحقیق در زمینه‌ی مسیریابی بهینه عوارض خطی، نظرات کارشناسان این حوزه، هزینه احداث و اثرات متقابل خطوط نفت با محیط اطراف و خصوصیات منطقه مورد مطالعه، پارامترهای موثر زیر در نظر گرفته شدند.

روش تحقیق و مراحل آن

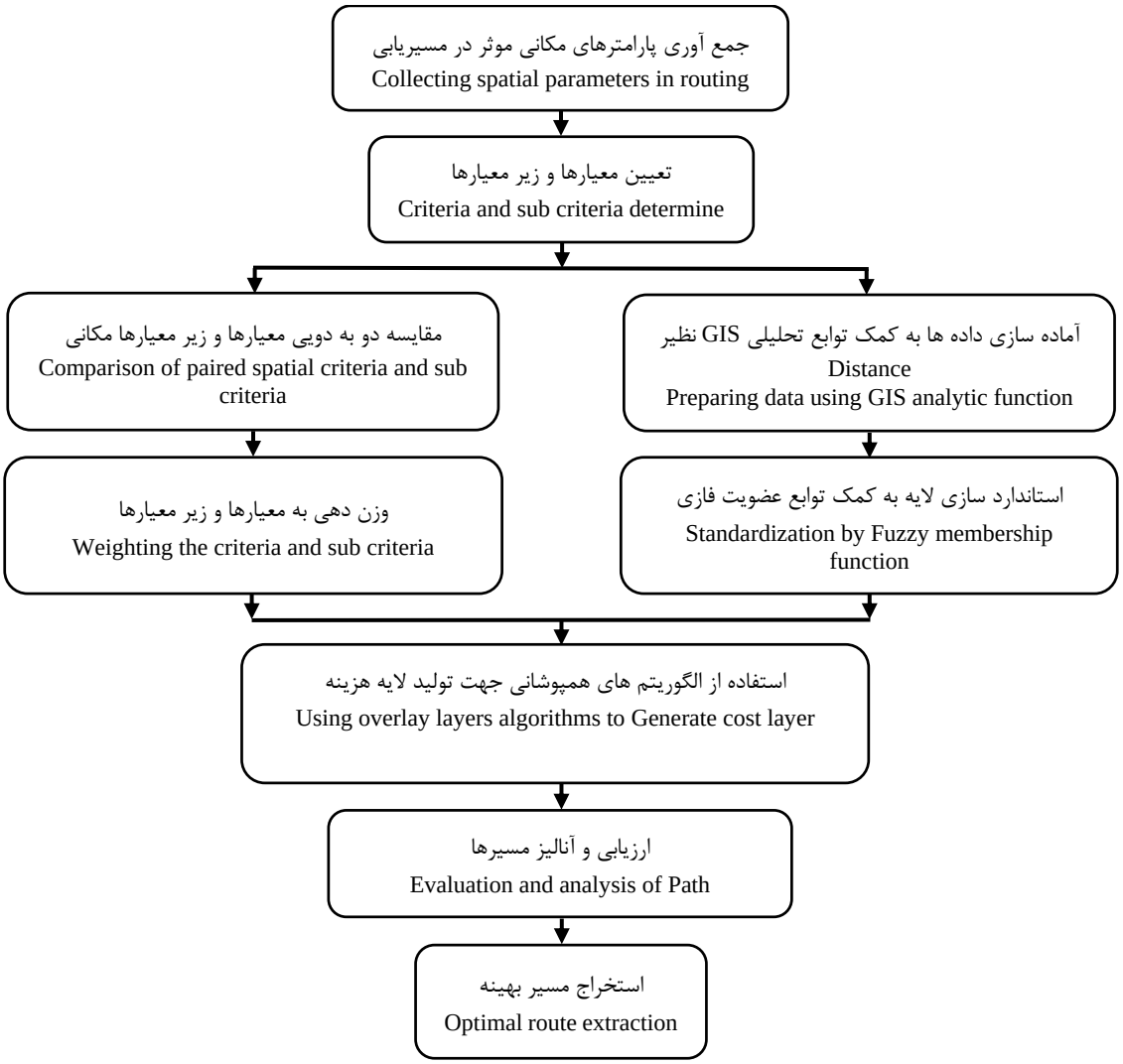
مراحل کلی تعیین مسیر بهینه در مدل داده رستری توسط الگوریتم دایجسترا در GIS را می‌توان به صورت شکل ۲ نمایش داد.

تعیین معیارها و زیر معیارها

با توجه به نظرات کارشناسان و مهمتر از آن در دسترس بودن اطلاعات از معیارهای مورد نظر، دو معیار فنی و اقتصادی و زیست محیطی به منظور مشخص کردن مسیر بهینه در نظر گرفته شده است.

معیار فنی- اقتصادی

معیار اول مربوط به عوامل فنی- اقتصادی مسیر طراحی‌شده هست. برای تعیین این معیار لازم است حتی‌الامکان به عواملی که از نظر فنی- اقتصادی برای طراحی مسیر موثر هستند، توجه شود. پس از مشاوره با افراد خبره اغلب مواردی که باعث رعایت کردن نکات فنی- اقتصادی می‌شوند (با توجه به منطقه‌ی مورد مطالعه این تحقیق) شامل حداکثر ارتفاع مجاز برای طراحی مسیر، حداکثر شیب مجاز، حتی‌الامکان اجتناب عبور مسیر طراحی‌شده از سازند های با مقاومت پایین، عدم امکان عبور مسیر از معادن موجود در منطقه، رعایت حداکثر فاصله نسبت به گسل‌های موجود در منطقه، عدم تلاقی مسیر طراحی‌شده با رودخانه‌هاو فاصله از راه‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه برای دسترسی مناسب به خط انتقال هستند (جدول ۲).



شکل ۳- فلوچارت تعیین مسیر بهینه در GIS

Fig. 3- Flowchart to determine optimal route in GIS

جدول۲- زیر معیارهای فنی- اقتصادی

Table 2. Under criteria the technical-economic

معیار Criteria	زیر معیار Sub criteria								
فنی- اقتصادی Technical-Economic	شیب Slope	ارتفاع Height	سازند Geology	راه اصلی M-road	راه فرعی S-road	گسل Fault	رودخانه River	معادن Mine	کاربری اراضی Land cover

جدول۳- زیر معیارهای زیست‌محیطی

Table 3. Under criteria the Environmental

معیار Criteria	زیر معیار Sub criteria			
زیست‌محیطی Environmental	مناطق حفاظت‌شده Protected area	کاربری اراضی Land cover	رودخانه River	آبراهه Stream

جدول۴- مقیاس نه کمیتی مورد استفاده در مقایسه‌های زوجی
Table 4. Numerical scale used in paired comparisons

ترجیحات (قضاوت شفاهی) Preferences	مقدار عددی Numerical value
کاملاً مرجع (Extremely Preferred)	9
مطلوبیت خیلی قوی (Very Strongly Preferred)	7
مطلوبیت قوی (Strongly Preferred)	5
کمی مطلوب تر (Moderately Preferred)	3
مطلوبیت یکسان (Equally Preferred)	1
ترجیحات بین فواصل مذکور	8 ،6 ،4 ،2

معیار زیست‌محیطی

معیار دوم مربوط به استخراج مسیر بهینه با در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی بوده که هدف از در نظر گرفتن این معیار کمینه کردن تأثیرات زیست‌محیطی می‌باشد.

فرآیند تحلیل سلسه مراتبی

تکنیک های تجزیه و تحلیل چند معیاره، ابزارهای شناخته شده پشتیبان تصمیم‌گیری هستند که در ارتباط با تصمیم‌گیری در مسائل پیچیده، استفاده می‌شوند. برای بهینه‌سازی مسائل مختلف مکانی، این تکنیک ها به دفعات با GIS ترکیب شده‌اند.روش‌های بسیار برای به دست آوردن وزن‌های معیار، که همان اولویت تصمیم‌گیرنده در ارتباط با معیارهای ارزیابی هستند، وجود دارد (Malczewski, 1999& Malczewski and Rinner2010). وزن دهی معیارها در واقع همان تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های تأثیرگذار در یک فرآیند تصمیم‌گیری است که می‌تواند به شیوه‌های مختلفی صورت بپذیرد.AHP به عنوان روش تصمیم‌گیری چند معیاره، از مقایسه دوبه دوی معیارها استفاده می‌کند تا به درجه‌بندیاولویت‌های مربوط به گزینه‌های مختلف برسد (Saaty & Vargas, 1991). با تحقیقاتی که توسط (1991) Saaty و Vargas انجام گرفت، یک دامنه برای مقایسه معیارها پیشنهاد شد که شامل مقادیر عددی ۱ تا ۹ می‌شود (جدول ۳). در مرحله بعدی، مقادیر اولویت‌بندی اختصاص داده‌شده برای تعیین رتبه‌بندی عوامل مربوط که همان مرحله وزن دهی است، ترکیب و تلفیق می‌شوند.

البته مقادیر مربوط به مقایسه دو به دو باید کاملا کارشناسی شده تعیین شوند و مقادیر اختیاری در نظر گرفته نشوند. اما متناقص بودن سلیقه‌ها و اولویت افراد مختلف باعث آشفتگی و انحراف در محاسبات می‌شود به همین دلیل، (1980) Saaty یک اندکس عددی منحصر به فردی برای بررسی استحکام ماتریس مقایسه دوبه دو مهیا کرد و نسبت *CR* به عنوان نسبت اندکس استحکام (CI) بر اندکس میانگین (RI) براساس رابطه (۱) تعریف شده است.:

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (۱)$$

Saaty (1980) مقدار اندکس میانگین استحکام *RI* را که برخی از مولفان به آن اندکس تصادفی نیز می‌گویند (Wagner, 2002)، به عنوان میانگین استحکام ماتریس‌های مربعی از مرتبه‌های مختلف که با مقادیر کاملا تصادفی مقداردهی شده بودند، محاسبه کرد. بنابراین مقادیر استحکام این ماتریس‌ها از پیش تعیین شده‌اند. مقدار اندکس استحکام مستقیم از ماتریس اولویت‌بندی شده و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه خواهد شد. رابطه (۲):

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۲)$$

که در آن λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس

اولویت‌بندی و n مرتبه ماتریس هستند. طبق دانش و تجربیات عملی استفاده کردن‌های مختلف AHP، Saaty پیشنهاد نمود که اگر نسبت استحکام از مقدار "۰/۱" تجاوز کند، نیاز است که ماتریس مقایسه بازنگری شود.

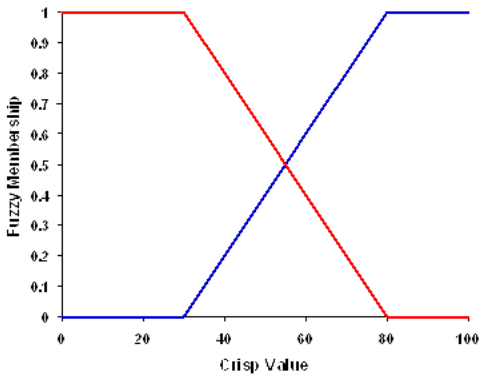
استانداردسازی

به طور کلی اگر بخواهیم لایه‌های مختلف نقشه‌های معیار را باهم ترکیب کنیم، مقیاس‌ها باید در تناسب با یکدیگر قرار داشته باشند بر اساس نوع اطلاعاتی که برای ایجاد نقشه‌ها موجودند، نقشه‌ای معیار را می‌توان در حالت‌های قطعی، احتمالاتی و فازی طبقه‌بندی کرد (Malczewski, J., 1999). در تمامی این روش‌ها هدف این است که مقادیر مربوط به پیکسل‌ها عددی در بازه (۰ و ۱) باشد. علاوه بر موارد ذکر شده نوع تابع فازی هم باید جهت تهیه نقشه‌های فازی مورد بررسی قرار گرفته و تابع مناسب برای معیار مورد نظر انتخاب شود. در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های استانداردشده به دلیل ماهیت آن از تابع فازی Linear (کاهشی و افزایشی) استفاده شده است (شکل ۳). تابع فازی خطی به دو دسته تابع استانداردسازی در حالت صعودی رابطه (۳) و تابع استانداردسازی در حالت نزولی رابطه (۴) دسته‌بندی می‌شود.

$$Xstd = \frac{\text{Max} - X}{Max - Min} \qquad (۳)$$

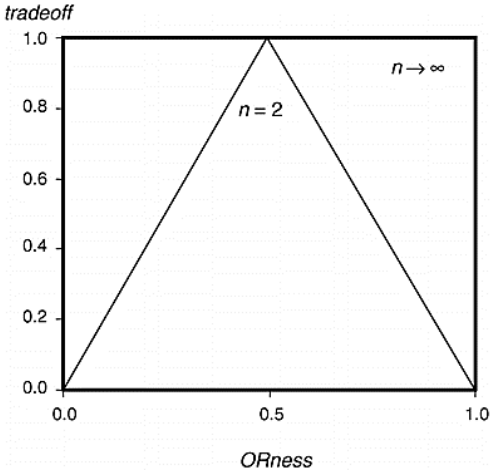
$$Xstd = \frac{X - Min}{\text{Max} - Min} \qquad (۴)$$

که در آنها Xstd مقدار معیار در حالت استاندارد و Max و Min به ترتیب مقدار بیشینه و کمینه معیار مورد نظر است.



شکل ۴- تابع عضویت فازی خطی

Fig. 4- Fuzzy Membership Linear



شکل ۵ – استراتژی فضای تصمیم‌گیری در روش OWA: رابطه بین ریسک‌پذیری و tradeoff

Fig. 5- OWA decision-making strategy: the relationship between ORness and tradeoff

روش OWA

تکنیک OWA به عنوان یکی از روش‌های ترکیب در مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مطرح بوده و بر مبنای مجموعه‌های فازی توسعه پیدا کرده است (Yager, 1988). استفاده از این روش محدود به مجموعه‌های فازی نبوده، و در آن مفهوم جدیدی برای توسعه قواعد تصمیم‌گیری بولین (کلاسیک) و ترکیب خطی وزن دار فراهم آمده است (Malczewski *et al.*, 2003). این مفهوم جدید شامل وزن‌های ترتیبی (V_J) بوده، که متفاوت از وزن‌های معیار (W_J) می‌باشند. وزن‌های معیار به معیارهای مورد استفاده اختصاص پیدا کرده در حالیکه وزنهای ترتیبی به ارزش‌های معیارها به صورت پیکسل به پیکسل اختصاص پیدا می‌کنند. در تصمیم‌گیری‌های فضایی با تعیین و اعمال مجموعه مناسبی از وزن‌های ترتیبی، می‌توان دامنه وسیعی از نتایج (نقشه‌ها) را بدست آورد. بعبارت دیگر با ارائه نتایج گوناگون با سطح ریسک و جبران پذیری متفاوت، این روش از انعطاف‌پذیری بالایی در برآورد ساختن نیازها و اولویت‌های تصمیم گیران برخوردار است (شکل ۴).

عملگر OWA به صورت زیر تعریف می‌شود (Yager, 1988, Malczewski *et al.*, 2003).

$$\mathrm{OWA_i} = \sum_{j=1}^{n}\left(\frac{w_j v_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j v_j}\right) Z_{ij} \qquad (۵)$$

که در آن $Z_{i1} \geq Z_{i2} \geq \cdots \geq Z_{in}$ با مرتب کردن ارزش‌های یک معیار (X_{ij}) بدست می‌آید. V_j وزن ترتیبی و W_j وزن معیار است. که بر اساس ترتیب Z_{ij} بدست می‌آید (Malczewski J., 2006).

مؤلفه‌های اصلی OWA

عملگر OWA می‌توان در بازه پیوسته‌ای که از کمیت سنج "All" تا کمیت سنج "At least one"حاصل می‌شود، قرار بگیرد. برای شناسایی محل عملگر OWA در این بازه می‌توان از دو مؤلفه۱- درجه ORness یا ریسک‌پذیری ۲- Tradeoff یا جبران پذیری استفاده کرد (Yager, 1999). درجه ORness یا ریسک‌پذیری، موقعیت عملگر OWA را در بین روابط And (مینیمم) و Or (ماکزیمم) نشان می‌دهد (Carlsson, 1997). و با استفاده از آن می‌توان OWA را مورد بررسی قرار داد (Yager, 1988).

$$ORness = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(n-i).Vi, 0 \leq ORness \leq 1 \qquad (۶)$$

که در آن Vi، وزن ترتیبی معیار i و n تعداد معیار است.

هر چقدر مقدار ORness بیشتر باشد، میزان خوش بینی و یا ریسک‌پذیریتصمیم‌گیری بیشتر خواهد بود و هر چقدر مقدار ORness کمتر باشد، میزان بدبینی و یا ریسک گریزی تصمیم‌گیری بیشتر خواهد بود. لازم به ذکر است که هر چه الگوریتم OWA به عملگر "OR" یا "MAX" نزدیکتر باشد، مقدار ORness به یک نزدیکتر است. در حالیکه هر چقدر به عملگر "AND" یا عملگر "MIN" نزدیکتر باشد مقدار ORness به صفر نزدیکتر است. یک معیار سنجش دیگر از ORness به صورت ANDness = 1 - ORness تعریف شده است.

مشخصه دوم عملگر OWA، برای اندازه‌گیری میزان جبران‌کنندگی معیارها استفاده می‌شود و نشان‌دهنده میزان جبران شوندگی معیاری ناکارآمد با سایر معیارهای در نظر گرفته شده است. اندازه Tradeoff مقداری بین صفر و یک است که"صفر" مبین عدم وجود جبران‌کنندگی میان معیارها و "یک" نشان‌دهنده‌یجبران‌کنندگی کامل است. این مقدار را می‌توان به عنوان اندازه‌ی از میزان پراکندگی وزن‌های OWA تفسیر کرد (Malczewski, 2006). درجه

"جبران‌کنندگی" بصورت رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$tradoff = 1 - \sqrt{\frac{n}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(V_i - \frac{1}{n}\right)^2} \quad , \quad 0 \le tradoff \le 1 \qquad (۷)$$

مشخص کردن نوع کمیت سنج

کمیت سنج‌های فازی، امکان تبدیل عبارت‌های زبانی به عبارت‌های ریاضی را فراهم ساخته و بر اساس نوع عبارت به کمیت سنج‌های مطلق و نسبی تقسیم می‌گردند (Meng Y., 2011). این کمیت سنج‌ها به عنوان مجموعه‌های فازی در فاصله [0, 1] نمایش داده شده و برای اندازه‌گیری تناسب مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرند (رجبی و همکاران، ۱۳۹۰). نمی‌توان به طور دقیق بیان کرد که کدام یک از انواع کمیت سنج‌های مفهومی برای ارزیابی چند معیاره مناسب‌ترند (Malczewski J., 2006). بررسی‌های انجام شده روی عملگرهای OWA Fuzzy نشان داد که با تغییر میزانαمی‌توانننقشه‌های متنوعی به دست آورد و آرا و اولویت‌های بسیاری از کارشناسان را برآورد ساخت (Malczewski, 2006). بنابراین می‌توان α را به گونه‌ای انتخاب کرد که برای انتخاب یک گزینه، فقط معیارهای دارای مقادیر بهتر تأثیر داده شوندکه این حالت منجر به ریسک‌پذیری بالا (مقدار ORness بالاتر) و موازنه پایین تر بشود (طالعی، ۱۳۹۲). در این پژوهش کمیت سنج‌های نسبی از میان کمیت سنج‌های منظم افزایشی[۸] انتخاب شدند.

محاسبه وزن ترتیبی

مجموعه دوم از وزن‌ها، مربوط به محاسبه‌یوزن‌های ترتیبی یا محلی هستند. وزن‌های ترتیبی شیوه ترکیب معیارهای وزن دار را کنترل کرده و به موقعیت مکانی سلول‌ها اختصاص پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر این وزن‌ها به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهند که معیارهای را که از نظر او در تصمیم‌گیری اهمیت بیشتری دارند؛ با همان وزن و اهمیت دخالت بدهد (Yager, 1988). با استفاده از کمیت سنج‌های فازی می‌توان به تولید وزن‌های ترتیبی پرداخت. همان طور که اشاره شد این وزن‌ها بر اساس کمیت سنج RIM هستند و آن‌ها را می‌توان بر اساس رابطه (۸) تعریف کرد (Malczewski, 2006). رابطه (۸):

$$V_j = \left(\frac{\sum_{k=1}^{j} u_k}{\sum_{k=1}^{n} u_k}\right)^{\alpha} - \left(\frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^{n} u_k}\right)^{\alpha}$$

توجه به این نکته ضروری است که در ارزیابی چند معیاره در *GIS*، وزن معیارها معمولاً دارای این خصوصیت هستند که مجموع وزن آن‌ها برابر یک است ($\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$). در نتیجه $\sum_{j=1}^{n} u_j = 1$ و معادله (۹) به شکل زیر ساده می شود:

$$V_j = \left(\sum_{k=1}^{j} u_K\right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_K\right)^{\alpha}$$

بنابراین وزن‌های ترتیبی V_j ، از وزن‌های معیار w_j حاصل می‌شوند.که وزن‌های معیار به معیار مورد استفاده اختصاص پیدا کرده در حالیکه وزن‌های ترتیبی به ارزش‌های معیارها به صورت پیکسل به پیکسل اختصاص پیدا می‌کند.

تعیین مسیر بهینه

در این پژوهش از الگوریتم دایجسترا در GIS برای استخراج مسیر بهینه در فضای رستر استفاده شده است. در این روش از یک تابع جستجو استفاده شده است که این تابع بر اساس یک قاعده ویژه مرحله به مرحله عملیات جستجو مستقیم را انجام می‌دهد. برای تعیین مسیر بهینه، تابع جستجو به طریقه زیر عمل می‌کند. شروع از سلولی که موقعیت مبدا را روی سطح هزینه تجمعی نشان می‌دهد،

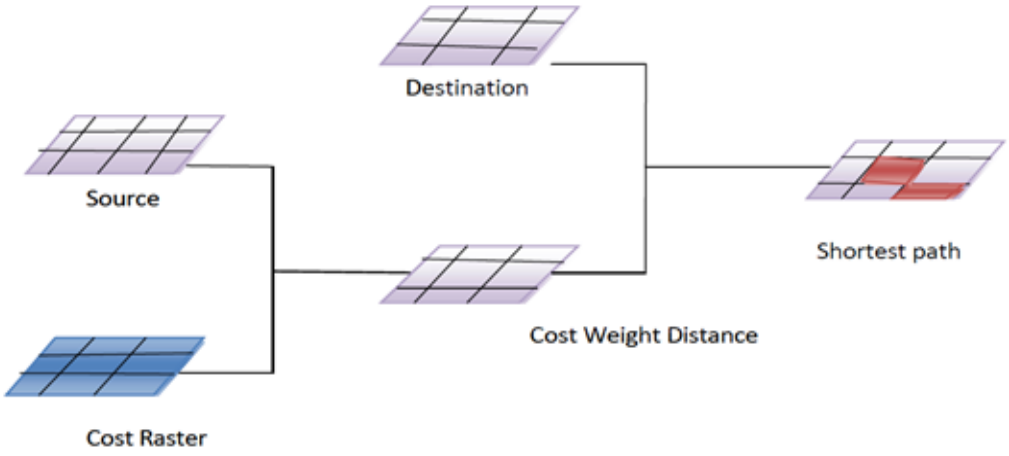
آغاز می‌شود و به سلول‌های همسایه با کوچک‌ترین هزینه تجمعی پیشروی صورت می‌گیرد. این عملیات تا زمانی که به نقطه مقصد برسد انجام می‌شود بدین نحو که بعد از تولید رستر هزینه تجمعی، مسیر بهینه از نقطه مبدا به طرف نقطه مقصد تعیین می‌گردد. در هر گام حرکت هزینه تجمعی همسایه اولی‌ها (هشت پیکسل مجاور) در نظر گرفته می‌شود و پیکسلی که دارای کم‌ترین هزینه تجمعی باشد به عنوان جهت حرکت انتخاب می‌گردد (Mohammadi, 2016).

نتایج و بحث

برای وزن دهی به معیارها و زیر معیارها در این روش با استفاده از نظرات کارشناسان متخصص در زمینه کاربرد مورد نظر و با در نظر گرفتن خصوصیات محدوده مطالعاتی مقایسه دو به دویی بین لایه‌ها از نظر هر کدام صورت گرفت(جداول ۶ تا ۸) و وزن مناسب برای هر لایه با استفاده از روش AHP در نرم افزار Expert Choice به دست آمد. نتیجه نهایی این مقایسات در جدول ۷ آمده است.

جدول ۵- کمیت سنج‌های انتخاب شده به همراه خصوصیات آن‌ها
Table 5. Selected quantifiers and their Properties

α	Quantifier (Q) روش	ORness ریسک‌پذیری	ANDness ریسک گریزی	TRAD-off جبران پذیری	GIS combination procedure روش ترکیب لایه ها
α →0	At least one	1	0	0	OWA(OR, MAX)
α= 0.5	A few	a	a	a	OWA
α= 1	Half (identity)	0.5	0.5	1	OWA(WLC)
α = 2	Most	a	a	a	OWA
α= 10	Almost all	a	a	a	OWA
α →∞	All	0	1	0	OWA(AND, MIN)



شکل۶- استخراج مسیر توسط الگوریتم حداقل هزینه
Fig.6- Route extraction by minimum cost Pat

جدول ۶- مقایسات دو به دو زیر معیارهای فنی- اقتصادی

Table 6. Comparison of paired Sub Criteria technical-economic

زیر معیار Sub Criteria	راه اصلی M-road	گسل Fault	راه فرعی S-road	شیب Slope	کاربری اراضی Land Cover	معدن Main	ارتفاع Height	زمین شناسی Geology	رودخانه River
راه اصلی M-road	1	3	3	2	3	4	2	3	3
گسل Fault	1.3	1	1	1.2	1.2	1	1.2	1	1.2
راه فرعی S-road	1.3	1	1	1.2	1.2	1	1.2	1.2	1.2
شیب Slope	1.2	2	2	1	2	2	2	2	1
کاربری اراضی Land Cover	1.3	2	2	1.2	1	2	1.2	2	1
معدن Main	1.4	1	1	1.2	1.2	1	1.2	1.2	1.2
ارتفاع Height	1.2	2	2	1.2	2	2	1	1	1.2
زمین شناسی Geology	1.3	1	2	1.2	1.2	2	1	1	1.2
رودخانه River	1.3	2	2	1	1	2	2	2	1

جدول ۷- مقایسات دو به دو زیر معیارهای زیست‌محیطی

Table 7. Comparison of paired sub criteria environmental

زیر معیار Sub Criteria	کاربری اراضی Land Cover	آبراهه Stream	مناطق حفاظت شده Protected area	رودخانه River
کاربری اراضی Land Cover	1	8	1.2	1
آبراهه Stream	1.5	1	1.8	1.5
مناطق حفاظت شده Protected area	2	8	1	1
رودخانه River	1	5	1.3	3

جدول ۸- مقایسات دو به دو معیارهای اصلی

Table 8. Comparisons of paired main criteria

معیار Criteria	فنی – اقتصادی technical-economic	زیست محیطی Environmental
فنی – اقتصادی technical-economic	1	1/2
زیست محیطی Environmental	2	2

میزان ضریب استحکام (CI) برای مقایسه دو به دو زیر معیارهای فنی- اقتصادی برابر ۰/۰۲ برای مقایسه دو به دو زیر معیارهای زیست‌محیطی برابر ۰/۰۱ و برای معیارهای اصلی برابر صفر بدست آمد که اعداد قابل قبولی هستند. جدول ۹ وزن بدست آمده برای معیارها و زیر معیارها را با استفاده از روش AHP در نرم افزار Expert Choice را نشان می‌دهد. با استفاده از توابع عضویت فازی خطی، که بر اساس حریم قانونی خطوط انتقال نفت برای هر کدام از لایه‌ها مکانی به صورت جداگانه تعریف و پیاده‌سازی شدند تا مقادیر مربوط به هر پیکسل در هر

لایه بین صفر تا یک قرار گیرد، هر چه ارزش یک سلول به یک نزدیک‌تر باشد در استخراج مسیر هزینه بالای را شامل می‌شود.

از آنجایی که لایه زمین‌شناسی به صورت پیوسته (پلیگونی) می‌باشد با توجه به مقاومت و سختی سازند و نوع روش حفاری با توجه به آئین نامه و نظرات کارشناسان امتیازی بین صفر تا یک اختصاص داده شد (جدول ۱۰). برای استانداردسازی لایه کاربری اراضی هم از نظر فنی-اقتصادی و زیست‌محیطی به صورت جداگانه باید به هر کدام از سطوح، مقادیر گسسته نسبت داده شود. با توجه به آئین نامه، نظرات کارشناسان، تأثیرات زیست‌محیطی و هزینه احداث مسیر، امتیازی بین صفر تا یک اختصاص داده شد (جدول ۱۱).

برای استانداردسازی دیگر زیر معیارها با توجه به مقررات حریم خطوط لوله نفت و گاز ایران و با توجه به نظرات کارشناسان حریم‌های موجود با توجه به جدول-۱۲تعریف و توابع عضویت فازی خطی به صورت جداگانه برای هر کدام در نرم‌افزار Arc GIS پیاده‌سازی شدند.برای زیر معیارهای شیب و ارتفاع با توجه به خصوصیات منطقه مورد مطالعه، نظر کارشناسان و آئین نامه مربوط به حریم خطوط لوله نفت و گاز ایران حداکثر ارتفاع و شیب مناسب برای عبور مسیر بهینه به ترتیب ۳۵۰متر و ۷ درصد در نظر گرفته شد. بدین صورت که هرچقدر مقادیر ارتفاعی و شیب بیشتر از مقدار مورد نظر شوند هزینه عبور مسیر خط انتقال افزایش می‌یابد. بعد از استانداردسازی کلیه لایه‌ها باید به مراحل ترکیب آن و تولید لایه هزینه پرداخته شود.

جدول ۹- وزن بدست آمده برای معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش AHP

Table 9. The weight obtained for the criteria and sub-criteria using the AHP method

معیار Criteria	وزن Weight	زیر معیار Sub Criteria	وزن Weight
فنی – اقتصادی **Technical-economic**	0.333	راه اصلی M-road	0.248
		گسل Fault	0.063
		راه فرعی S-road	0.057
		شیب Slope	0.145
		کاربری اراضی Land cover	0.104
		معدن Main	0.057
		ارتفاع Height	0.109
		زمین شناسی Geology	0.081
		رودخانه River	0.136
زیست محیطی **Environmental**	0.667	مناطق حفاظت شده Protected area	0.449
		آبراهه Stream	0.050
		رودخانه River	0.215
		کاربری اراضی Land Cover	0.236

جدول ۱۰- امتیاز داده‌شده به سازندها از نظر فنی- اقتصادی

Table 10. The points given to the formations are technically-economic

نام سازنده Formation name	امتیاز از نظر فنی – اقتصادی Technical-economic weight
میشان Mishan	0.8
آغاجاری Aghajari	1
لهبری Lahbari	0.85
بختیاری Bakhtiari	0.45
کواترنری Quaternary	0.35
گچساران Gachsaran	0.25

جدول ۱۱- امتیاز داده‌شده به کاربری اراضی از نظر زیست‌محیطی

Table 11. The points given to the formations are environmental

نام کاربری Land cover name	امتیاز از نظر فنی – اقتصادی Technical-economic weight	امتیاز از نظر زیست‌محیطی Environmental weight
کشاورزی Agriculture	0.8	0.9
مسکونی Residential	1	1
جنگل Forest	0.85	0.95
مراتع پر تراکم High-density pastures	0.45	0.5
مراتع متوسط Medium pastures	0.35	0.4
مراتع کم تراکم Low-density pastures	0.25	0.3
سد Dam	1	1

جدول ۱۲- حریم مورد استفاده برای استانداردسازی زیر معیارها

Table12. The privacy used to standardize the sub criteria

نام زیر معیار Name of sub criteria	ناحیه حفاظت‌شده Protected area	آبراهه Stream	رودخانه River	راه‌های اصلی M-road	راه فرعی S-road	گسل Fault	معدن Main
حریم عارضه مور نظر(متر) Area privacy (Meter)	150	5	100	20	7.5	100	100

جدول ۱۳- بردار وزن‌های ترتیبی بدست آمده برای سطوح کنترل جبران پذیری وریسک زیر معیارهای فنی- اقتصادی

Table 13. The vector of sequential weights for the compensating and control levels for the technical-economic sub criteria

$\alpha \rightarrow \infty$	$\alpha = 10$	$\alpha = 2$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.5$	$\alpha \rightarrow 0$
1	0.4439	0.1108	0.111	0.0290	0
0	0.2580	0.1043	0.111	0.0298	0
0	0.1555	0.1077	0.111	0.0341	0
0	0.0920	0.1246	0.111	0.0458	0
0	0.0394	0.1435	0.111	0.0626	0
0	0.0095	0.1272	0.111	0.0714	0
0	0.0016	0.1254	0.111	0.1004	0
0	0.0001	0.0929	0.111	0.1289	0
0	0	0.0614	0.111	0.4980	1

جدول ۱۴- مقادیر ORness، ANDness و TRAD-OFF برای کمیت سنج‌های فازی مورد استفاده برای زیر معیارهای فنی- اقتصادی

Table 14. ORness, ANDness, and TRAD-OFF values for fuzzy quantizers used for the technical-economic sub criteria

α	TRAD-OFF جبران پذیری	ANDness ریسک گریزی	ORness ریسک‌پذیری
α→0	0	0	1
α = 0.5	0	0.21	0.79
α = 1	1	0.50	0.50
α = 2	0.93	0.53	0.47
α = 10	0.99	0.87	0.13
α →∞	0	1	0

جدول۱۵- بردار وزن‌های ترتیبی بدست آمده برای سطوح کنترل جبران پذیری و ریسک زیر معیارهای زیست‌محیطی

Table 15. The vector of sequential weights for the compensating and control levels for the Environmental sub criteria

α →∞	α = 10	α = 2	α = 1	α = 0.5	α→0
1	0.4013	0.0975	0.25	0.0253	0
0	0.5527	0.3623	0.25	0.1174	0
0	0.0451	0.2912	0.25	0.1509	0
0	0.0009	0.2490	0.25	0.7064	1

جدول ۱۶- مقادیر ORness، ANDness و TRAD-OFFبرای کمیت سنج‌های فازی مورد استفاده برای زیر معیارهای زیست‌محیطی

Table 16. ORness, ANDness, and TRAD-OFF values for fuzzy quantizers used for the Environmental sub criteria

α	TRAD-OFF جبران پذیری	ANDness ریسک گریزی	ORness ریسک‌پذیری
α→0	0	0	1
α = 0.5	0	0.15	0.85
α = 1	1	0.50	0.50
α = 2	0.78	0.44	0.56
α = 10	0.99	0.79	0.21
α →∞	0	1	0

جدول ۱۷- بردار وزن‌های ترتیبی بدست آمده برای سطوح کنترل جبران پذیری و ریسک برای معیارهای اصلی

Table 17. The vector of sequential weights for the compensating and control levels for the main criteria

α →∞	α = 10	α = 2	α = 1	α = 0.5	α→0
1	0.9826	0.5551	0.5	0.1833	0
0	0.0174	0.4449	0.5	0.8167	1

جدول ۱۸- مقادیر ORness، ANDness و TRAD-OFF برای کمیت سنج های فازی مورد استفاده برای معیارهای اصلی

Table 18. ORness, ANDness, and TRAD-OFF values for fuzzy quantizers used for the main criteria

α	TRAD-OFF جبران پذیری	ANDness ریسک گریزی	ORness ریسک‌پذیری
α→0	0	0	1
α = 0.5	0.37	0.19	0.81
α = 1	1	0.50	0.50
α = 2	0.89	0.56	0.44
α = 10	0.95	0.98	0.02
α →∞	0	1	0

کمتر از حریم‌های تعریف‌شده برای هر کدام از زیر معیارهای مورد نظر عبور خطوط انتقال هزینه بالا داشته و هر چقدر فاصله بیشتر شود هزینه عبور کاهش می‌یابد. در این پژوهش با توجه به وزن‌های بدست آمده برای معیارهابا استفاده از روش AHP (جدول-۹) و کمیت سنج‌های منتخب و با استفاده از رابطه ۸ اقدام به محاسبه وزن‌های ترتیبی گردید.

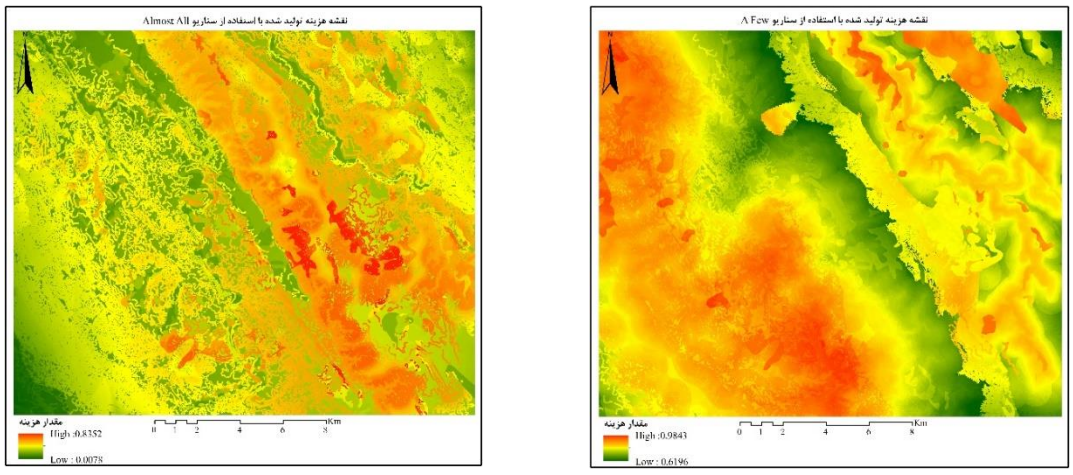
با تغییر وزن‌های ترتیبی، OWA، نتایج اجتماع را بصورت پیوسته تولید می‌کند که در آن نقش تصمیم‌گیری در فضای یک مثلث تصمیم‌گیری بین عملگر AND (ریسک گریزی) و عملگر OR (ریسک‌پذیری) قرار می‌گیرند به گونه‌ای که با در نظر گرفتن این وزن‌ها این امکان فراهم می‌شود که میزان جبران پذیری عوامل و سطح ریسک‌پذیری مدل کنترل شود.

در این مرحله با استفاده از تابع ترکیبی OWAلایه‌های مورد استفاده در دو سطح در نرم‌افزارIDRISI با هم ترکیب شدند. بدین صورت که ابتدا تمام لایه‌های مرتبط با معیارهای فنی- اقتصادی و زیست‌محیطی با توجه به سناریوهای در نظر گرفته شده در وزن‌های مربوطه ضرب و با هم تجمیع گردیدند. سپس خروجی بدست آمده از هر کدام از معیارها با توجه به سناریویش (به عنوان مثال نقشه هزینه فنی- اقتصادی و زیست‌محیطی با سناریو AND) با هم ترکیبو نقشه هزینه ترکیبی در هر سناریو تولید شد (شکل-۶). خروجی لایه هزینه بین صفر تا یک یا صفر تا ۲۵۵ (در نرم‌افزار IDRISI)بدست می‌آید به این صورت که هر اندازه ارزش پیکسل (یا همان DN) به یک نزدیکتر باشد، برای طراحی مسیر هزینه بالای را شامل می‌شوند. شکل ۶ نمونه‌ای از نقشه‌های هزینه تولید شده برای یافتن مسیر انتقال نفت را نشان می‌دهد.لایه‌های هزینه تولیدشده در مرحله قبل وارد GIS شده و پس از قرار دادن مقادیر آن‌ها بین صفر تا یک، الگوریتم دایجسترا به صورت جداگانه بر روی هر سناریو اجرا شد. نتایج حاصل از استخراج مسیرها در مقایسه با خط انتقال موجود، در جداول ۱۹ تا ۲۱ و شکل ۶ آمده است.

جدول ۱۹- مقایسه فاکتور طول، هزینه، متوسط شیب و متوسط ارتفاع در شش سناریو

Table 19. Comparison of factor length, cost, average slope and average height in six scenarios

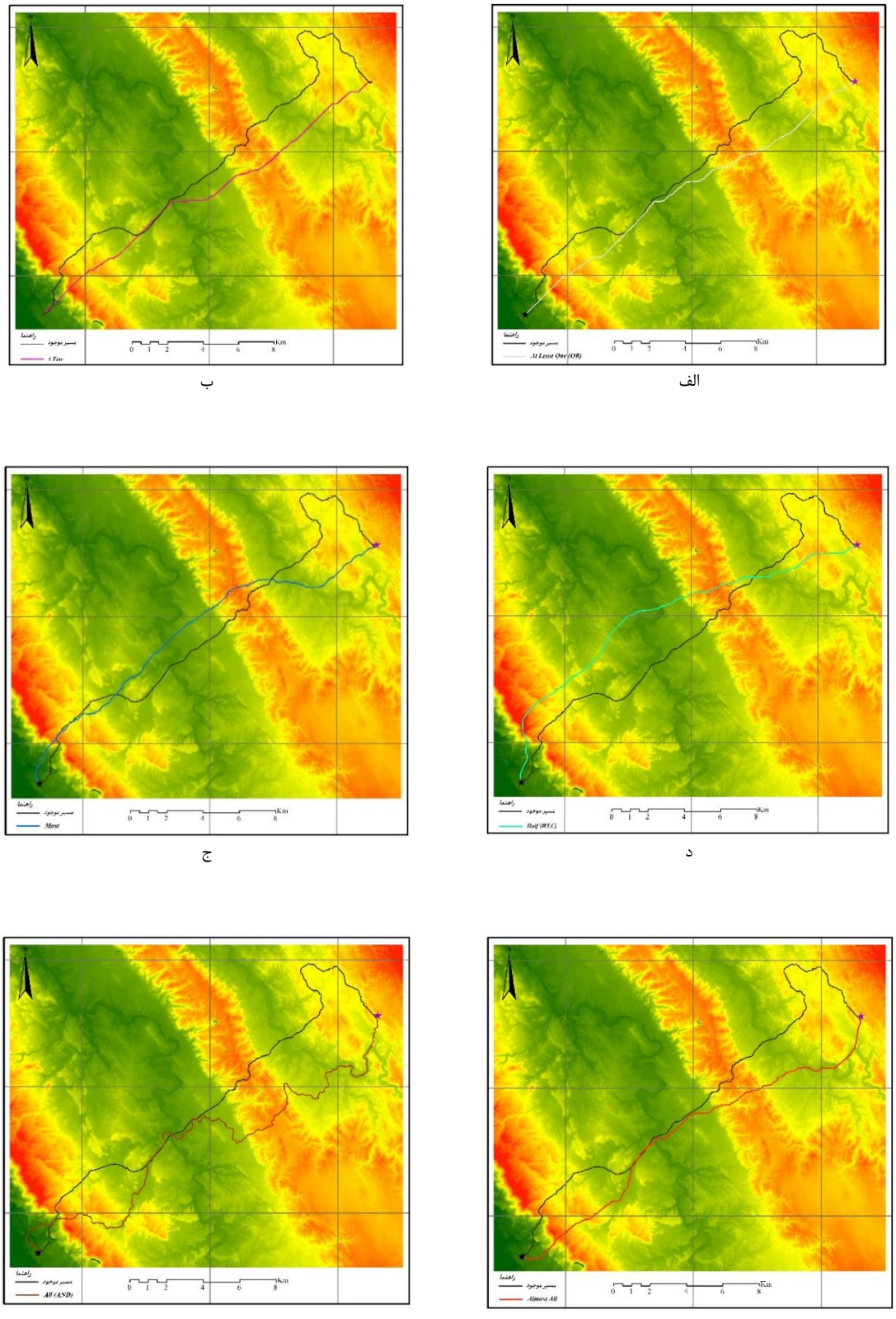
متوسط ارتفاع (متر) Average Height (Meter)	متوسط شیب (درصد) Average Slope (Percent)	هزینه Cost	طول (متر) Length (Meter)	سناریو Scenario
236.20	6.94	196.36	43.79	**All (AND)**
237.87	9.96	486.40	28.35	**Almost All**
245.16	12.81	508.96	26.37	**Most**
251.44	16.87	846.35	26.6	**Half (WLC)**
261.66	20.54	1565.72	24.2	**A Few**
265.86	20.94	1836.31	24.04	**At least one (OR)**



ب الف

شکل ۷- دو نمونه از نقشه‌های هزینه بدست آمده با استفاده از مدل ترکیبی ارائه شده. الف) سناریو A Few ب) سناریو Almost All

Fig.7- Two examples of cost tables are presented using the combined model. A) A Few Scenario b) Almost All Scenario



الف ب

ج د

ه ی

شکل ۸- مسیرهای استخراج‌شده توسط الگوریتم در سناریوهای مختلف. الف) At Least one (OR) ب) A Few ج) Half (WLC) د) Most ه) Almost All ی) All (And)

Fig. 8- The paths extracted by the algorithm in different scenarios. A) At Least one (OR) b) A Few c) Half (WLC) d) Most E) Almost All F) All (And)

جدول ۲۰- مقدار طول، متوسط شیب و متوسط ارتفاع برای مسیر موجود
Table 20. Length measure, Medium slope, Medium height for the existing route

	طول (متر) Length (Meter)	متوسط شیب (درصد) Average Slope (Percent)	متوسط ارتفاع (متر) Average Height (Meter)
مسیر موجود Existing path	33.13	16.11	266.85

جدول ۲۱- مقدار هزینه مسیر موجود در شش سناریو
Table 21. Route cost amount in six scenarios

سناریو Scenario	AND	Almost All	Most	WLC	A Few	OR
هزینه مسیر موجود Cost existing path	455.29	896.02	1741.08	1235/4	2373.24	2755.91

بررسی نتایج بدست آمده نمایانگر افزایش مقدار هزینه، متوسط شیب و ارتفاع با افزایش مقدار α می‌باشد. زیرا در سناریوهای با مقادیر کمتر از $\alpha < ۱$ ارزش بیشتر به پیکسل‌های دارای مقدار عددی بالا داده می‌شود(جدول- ۱۸). بعبارت دیگر با افزایش مقدار α و کاهش درجه خوش بینی،وزن‌های ترتیبی کوچکتر و کوچک‌تری به ارزش‌های بالای معیارها اختصاص پیدا می‌کند. در حالی که وزن‌های ترتیبی بزرگتر به مقادیر دارای ارزش عددی پایین در همان موقعیت اختصاص داده می‌شود. سناریو AND که برابر باکمیت سنج فازی همگی یا All می باشد، به عنوان بدبینانه ترین سناریو در زنجیره کمیت سنج‌های فازی مطرح می‌باشد. در این سناریو نتایج تصمیم‌گیری منجر به کمترین ریسک و جبران پذیری پایین می‌شود؛ در حالیکه بهترین مسیر را از نظر هزینه در بین پنج سناریوی دیگر استخراج می‌کند. زیرا در این سناریو ارزش بیشتر به پیکسل‌های با هزینه کمتر داده می‌شود که از نظر الگوریتم دایجسترا بیانگر پیکسل‌های مناسب برای استخراج مسیر هستند. به عبارت دیگر در این سناریو کمترین مقادیر و ارزش‌های معیارها در هر موقعیت انتخاب می‌گردد. که این عامل باعث شده است که بهترین مسیر از نظر هزینه مربوط به این سناریو باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد مقدار طول مسیر در سناریو AND بیشتر از دیگر سناریوهاست. دلیل آن این است که الگوریتم دایجسترا یک الگوریتم تک هدفه بوده و هدف آن استخراج مسیر با کمترین هزینه می‌باشد. زیرا در هر گام حرکت هزینه تجمعی همسایه اولی‌ها هشت پیکسل مجاور (معمولاًپیکسل‌های رو به جلو پیکسل مرکزی) در نظر گرفته می‌شود و پیکسلی که دارای کم‌ترین هزینه تجمعی باشد به عنوان جهت حرکت انتخاب می‌گردد و مقدار طول مسیر را در نظر نمی‌گیرد که همین مورد یکی از مهم‌ترین عیوب الگوریتم می‌باشد. یعنی چند هدفه عمل نمی‌کند.در سنا ریوهای منطبق باکاهش مقدار α، چون ارزش بیشتر به پیکسل‌های که دارای مقدار عددی بالای می‌باشند؛ داده می‌شود به همین خاطر تعداد پیکسل‌های با ارزش عددی بالا زیاد شده به گونه‌ای که در سناریو At least one یا OR اکثر منطقه را فرا می‌گیرند(برای هر پیکسل در این سناریو بزرگترین عدد انتخاب می‌گردد) به همین دلیل الگوریتم خاصیت جستجوی خود را از دست می‌دهد زیرا پایه و اساس آن انتخاب پیکسل‌های با مقدار هزینه حداقل در میان پیکسل‌های همسایه می‌باشد، و هدف الگوریتم رسیدن به پیکسل مقصد می‌باشد، به همین خاطر مقدار طول مسیر از سناریو All (AND) به سمت سناریو At least one (OR) کاهش می یابد. همانطور که در (جدول-

۲۰) ملاحظه می‌گردد، مسیر استخراج‌شده از الگوریتم در دو سناریو Most و WLC، نتایج بهتری از نظر طول و هزینه که دو فاکتور اصلی در طراحی مسیر خطوط انتقال نفت می‌باشند، در مقایسه با سناریوهای دیگرتولید کرده‌اند.بر اساس مقایسه بین مسیر موجود و مسیرهای بدست آمده از الگوریتم دایجسترا در سناریوهای متفاوت برا اساس چهار فاکتور طول، هزینه، متوسط شیب و متوسط ارتفاع (جداول۱۹ تا ۲۱) مسیر استخراج شده در سناریوهای Almost All ، Most و Half (WLC) از نظر کلیه فاکتورها در شرایط بسیار مناسب‌تری قرار دارند. سناریوهای دیگر در برخی از فاکتورها نتایج بهتری نسبت به مسیر موجود ایجاد کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که برای مسیریابی اهداف و معیارهای مختلفی و بعضا متناقضی در نظر گرفته می‌شود برآورده نمودن همه‌ی این اهداف و معیارها به طوریکه پاسخگوی تمامی نیازها باشد، کار بسیار پیچیده‌ای است. در این مقاله با استفاده از سه مدل تصمیم‌گیریAHP، OWA و کمیت سنجی مفهومی فازی به صورت مرحله به مرحله راهکارهای مناسبی برای رسیدن به تصمیم‌گیری مکانی جامع برای پشتیبانی از فرایند تعیین مسیر عبور خطوط انتقال نفت و دیگرزیرساخت‌های خطی پرداخته شده است. با بررسی‌هایی که صورت گرفت دو نوع معیار اصلی فنی و مهندسی و زیست‌محیطی در سطح اول تصمیم‌گیری انتخاب شد. با توجه به این معیارهای اصلی،۱۳ لایه اطلاعاتی از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری و طبقه‌بندی شد. نتایج تحقیق نشان داده که:

تکنیک OWA به عنوان یکی از روش‌های ترکیب در مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مطرح بوده و بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی توسعه پیدا کرده است. این روش شامل مجموعه‌ای از وزن‌هایترتیبی بوده که متفاوت ازوزن‌های معیار می‌باشند. در استراتژی فضای تصمیم‌گیری (شکل-۴) با تعیین و اعمال مجموعه مناسبی از وزن‌های ترتیبی، می‌توانسنا ریوهای متعددی (نقشه‌ها) ایجاد کرد، که مزیتمنحصربه‌فرد عملگر ترکیبی OWA است. به عبارت دیگر با ارائه نتایج گوناگون با سطح ریسک و جبران پذیری این روش از انعطاف‌پذیری بالایی در برآورد ساختن نیازها و اولویت تصمیم گیران برخوردار است. همچنین با ترکیب دو الگوریتم AHP و OWA ضمن ارائه نتایج بهتر، سبب می‌شود که انعطاف‌پذیری الگوریتم AHP بیشتر شود و سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری ایجاد گردد.

لازم به ذکر است که در بحث‌های مربوط به مکان‌یابی (به عنوان مثال مجتمع‌های مسکونی) مناطق مناسب جاهای هستند که مقدار پیکسل‌هایشان ارزش‌های بالا دارند به همین دلیل سناریو All در پژوهش‌های که به دنبال مناطق با ارزش پیکسل بالا هستیم جواب نامناسب‌تری را نسبت به سناریوهای دیگر ایجاد می‌کند. درحالی‌که در این پژوهش از نظر هزینه نتایج بهتری از آن بدست آمده است. پس بسته به کاربرد مورد نظر سناریوهای OWA جواب‌های متفاوتی را از لحاظ مناسب و نامناسب بودن تولید می‌کنند.

از آنجایی که الگوریتم دایجسترا فقط بر مبنای هزینه بوده و هم زمان در استخراج مسیر، توجهی به طول آن ندارد لذا پیشنهاد می‌گردد از الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر بهینه‌سازی کلونی مورچگان و ژنتیک در استخراج مسیر استفاده و پیاده‌سازی شود.

نتایج نشان داد که مدل برای مسیریابی خطوط انتقال نفت مناسب بوده و در صورت بهبود ضعف ذکرشده‌ی الگوریتم دایجسترا و استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در استخراج مسیر با صرف زمان و هزینه کمتر و با دقتی مناسب می‌توان جایگزین روش‌های سنتی شده و به عنوان یک سیستم تصمیم‌گیری مکانی مناسب برای طراحان مسیر باشد.

پی نوشت‌ها

[1] Dijkstra
[2] Geospatial Information System (GIS)
[3] Virtual Network
[4] Analytical Hierarchy Process (AHP)
[5] Ordered Weighted Averaging (OWA)
[6] Spatial Decision Support System
[7] Gray Relative Analysis
[8] Multi Criteria Decision making Analysis (MCDA)
[9] Regular Increasing Monotone (RIM)

منابع

Ahmadi, S., Ebadi, H., Zeoj, M. V., 2008. A new method for path finding of power transmission lines in geospatial information system using raster networks and minimum of mean algorithm. World Applied Sciences Journal, 3(2), 269-277.

Albert, P., 2004. Finding minimal cost paths in raster geographic information system map representations, genetic algorithms, simulated annealing and tabu search. Phd Thesis, Kent State University College of Business.

Antikainen, H., 2013. Using the Hierarchical Pathfinding A* Algorithm in GIS to Find Paths through Rasters with Nonuniform Traversal Cost. ISPRS International Journal of Geo-Information, , 2(4), 996.

Bagli, S., Geneletti, D. and Orsi, F., 2011. Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. Environmental Impact Assessment Review, 31(3), 234-239.

Boroushaki, S., Malczewski, J.2010. Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. International Journal Computers & Geosciences 36, 302–312.

Dean, D. J., 2011.Optimal routefinding with unlimited possible directions of movement. Transactions in GIS, 15(1), 87-107.

Dijkstra, E. W., 1959. A note on two problems in connexion with graphs. Numerischemathematik, 1(1), 269-271.

Eldrandaly, K. A., Hassan, M. M., AbdelAziz, N.M., 2015. A Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Least-Cost Path Problem in Raster GIS. Appl. Math, 9(1), 147-154.

Gonçalves, A. B., 2010. An extension of GIS-based least-cost path modelling to the location of wide Paths. International Journal of Geographical Information Science, 24(7), 983-996.

Iqbal, M., Sattar, F., and Nawaz, M., 2006. Planning a Least Cost Gas Pipeline Route A GIS & SDSS Integration Approach. Paper presented at the Advances in Space Technologies,International Conference Turkey.

Kruusmaa, M and Willemson, J. 2003. Covering the path space: a casebase analysis for mobile robot path planning. Knowledge-Based Systems, 16(5), 235-242.

Li, X., He, J. and Liu, X. 2009. Ant intelligence for solving optimal path-covering problems with multi-objectives. International Journal of Geographical Information Science, 23(7), 839-857.

Malczewski, J., 1999. GIS and multicriteria decision analysis: John Wiley & Sons.

Malczewski, J., 2006a. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information

Science 20 (7), 703–726.

Malczewski, J., and Rinner, C., 2010. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science: Springer.

Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D. and Healy, M.A., 2003. GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies. Environ. Plann. A 35 (10), 1769–1784.

Matkan, A. A., Pourali, S. H., Mirbagheri, B. and Mohammadi, Sh., 2015. Optimal Routing Using Intelligent Algorithms in GIS, The First National Conference of Fire and urban safety, Theran, Iran.

Meng Y., Malczewski J., and Boroushaki S., 2011. A GIS-based multicriteria decision analysis approach for mapping accessibility patterns of housing development sites: a case study in canmore, Alberta, Geo. Inf. Sys. 3: 50-61.

Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY, 437 pp.

Saaty,T.L. and L.G.,Vargas. 1991. Prediction, Projection and Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251 pp.

Saha, A. K., 2005. GIS-based route planning in landslide-prone areas", International Journal of Geographical Information Science, 19(10), 1149-1175.

Stahl, C. W., 2005. Accumulated surfaces & least-cost paths: GIS modeling for autonomous ground vehicle (AGV) navigation. Msc Thesis, aculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, American.

Umashankar, S., 2014.Optimization on Shortest Path Finding For Undergroungd Cable Transmission Lines Routing Using GIS. Journal of Theoretical & Applied Information Technology, 65(3), 2014.

Wagner, E.D. 2002. Public key infrastructure (PKI) and virtual private network (VPN) compared using a utility function and the analytic hierarchy process (AHP). M.Sc. Thesis,Virginia Polytechnic Institute and State University, 50pp.

Yager, R. R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 18(1): 183-190.

Yager, R. R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 18(1): 183-190.

Yager, R.R. and Filev, D.P., 1999. Induced ordered weighted averaging operators. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part B 29, 141–150.

Yu, C., Lee, J., Munro-Stasiuk, M. J., 2003. Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning. International Journal of Geographical Information Science, 17(4), 361-375.

Environmental Sciences Vol.15 / No.2 / Summer 2017

141-162

Oil pipeline route optimization using multi-criteria analysis in GIS

Shahram Mohammadi *, Ali Akbar Matkan, Seyed Hossain Pourali, Babak Mirbagheri and Parvin Ahmadpour

Department of Remote Sensing and GIS, Remote Sensing and GIS Research Institute, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

Received: 2016.10.01 **Accepted:** 2017.05.23

Mohammadi, Sh., Matkan, A.A., Pourali, S.H., Mirbagheri, B. and Ahmadpour, P. 2017. Oil pipeline route optimization using multi-criteria analysis in GIS. Environmental Sciences. 15(2): 143-164.

Introduction: According to distribution requirements and the broad distance between production and consumption centres in Iran, linear infrastructure development plays an important role and should be considered as a vital necessity. Routing problems include many factors which are often incompatible with each other and incompatibility amongst parameters causes significant delays in the process of routing. Hence, it is of interest that use of the new utilities in Geographic Information Systems (GIS) to optimize the routing process can resolve the difficulties faced in decision-making steps.

Materials and methods: This study aims at optimizing oil pipeline routes from wells drilled to the refinery by using different scenarios and to consider is ORness and ANDness. In the beginning preparation stage all necessary spatial data Like, Geology, land cover, slope, Dem, Fault, Main, River, stream which are required to find the optimal route for establishment of oil transmission line have been collected than Standardization and Preparation by using reducing and Increasing linear weighting function. AHP process has been hired in order to find spatial weight of each parameter's effectiveness in terms of cost of establishment and oil line interaction with its surrounding environment. Ordered weighted average (OWA) method has been applied to integrate spatial data and achieve the result, cost layer. Dijkstra's algorithm has then been used to find the optimal route between the location of wells and refineries.

Results and discussion: The results show that with increase in the value of α, the amount of cost, average slope and height of the oil transit route increase. In scenarios with $\boldsymbol{\alpha < 1}$, higher values are given to high-value pixels. While higher order weights are assigned to values with a lower numerical value in the same position. Therefore, the length of the route from the All (AND) scenario to the At least one (OR) scenario decreases. Because the Dijkstra's algorithm is a single-objective algorithm and aims at extracting the path with the least

* Corresponding Author. *E-mail Address*: gis.shahram@yahoo.com

cost. Because at every move, Choose a pixel with the lowest Accumulative cost as the direction of motion and do not pay attention to the length of the route.

Conclusion: By comparing the existing route and the paths obtained from the Dijkstra's algorithm in different scenarios based on the factors of length, cost, mean slope and height of the route extracted In Almost All, Most, and Half (WLC) scenarios, are better than the other options in terms of techno-economic and environmental conditions in study area. Other scenarios have produced better results than some of the existing ones in some of the factors. Providing Various Results, With ORness and tradeoff this method has great flexibility in estimating the needs and priority of decision makers in the field of petroleum industry to design optimal transmission lines.

Keywords: Routing, Geographic Information Systems (GIS), Dijkstra's algorithm, Analytical Hierarchy Process (AHP), Ordered Weighted Average (OWA)